

consideraciones sobre aislamientos térmicos

A. GARCIA ARROYO, *Lcdo. en Ciencias Físicas*

sinopsis La variación anual de la temperatura externa, así como la diaria, se manifiesta de una manera notable en el interior de los edificios creando, en condiciones extremas, un incomfort evitable mediante la combinación apropiada de dos elementos: aislamientos y sistemas de calefacción o aire acondicionado.

Dada la extensa gama de variación de cada uno de estos factores, haciendo un estudio detallado de sus propiedades físicas, situación, costes y clima de la región, encontramos el material más idóneo a emplear, coeficiente global de transmisión térmica (U_e) del aislamiento y espesor (t_e) más económico del material aislante.

símbolos

U_e = Coeficiente global de transmisión térmica más económico ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$).

t_e = Espesor más económico del aislante (m).

k = Coeficiente de conductividad térmica del aislante ($\text{kcal} \cdot \text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$).

G = Grados día.

I = Coeficiente de intermitencia de calefacción.

C_c = Coste de la calefacción (ptas./100.000 kcal).

R = Interés y depreciación, en tanto por ciento por año.

C_m = Coste del material aislante (ptas./ m^3).

m_o = Resistencia térmica del aislamiento sin considerar el aislante ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$).

Introducción

Cuando un material o una combinación de ellos, en pequeños espesores, y en virtud de su constitución física, calor específico, densidad, superficies reflectantes, etc., amortigua o retarda la propagación de una onda calorífica entre dos medios de manera importante, se le puede considerar como un aislante térmico.

Aunque el propósito de este trabajo sea sólo estudiar el tipo de aislamiento empleado en los cerramientos de edificación, en donde nunca, o al menos rara vez, nos encontramos con gradientes térmicos superiores a los 40°C , la gama de los aislamientos actualmente existentes en el mercado nos cubre un campo de variación de la temperatura que va desde el cero absoluto hasta los 1.500°C .

Como quiera que aparte del in confort térmico existen otros factores que redundan en las molestias de las viviendas, tales como los ruidos y humedades, el tipo de aislamiento empleado en cerramientos debe ser compuesto para así poder paliar, con una sola lámina aislante, dos o más de estas perturbaciones del bienestar.

Los materiales básicos de que suelen estar formados los aislamientos son:

- a) materias minerales fibrosas o celulares, asbesto, vidrio;
- b) materias orgánicas, fibrosas o celulares, algodón, corcho, madera, etc.;
- c) plásticos orgánicos celulares;
- d) metales reflectantes.

Estructura física y forma

Como vimos anteriormente para materiales básicos, los aislamientos son de estructura fibrosa, granular o celular.

En cuanto a su forma tenemos:

- a) *Cemento de relleno:*

Polvos, gránulos o nódulos que se introducen en las cámaras interiores de los muros.

- b) *Flexibles y semirrígidos:*

Alta compresibilidad y flexibilidad, en forma de mantas o feltros en rollos que se extienden sobre una superficie del muro. Generalmente van provistos de láminas reflectantes y antivapor de agua, metálicas o plásticas.

- c) *Rígidos:*

Bloques, planchas o láminas de dimensiones predeterminadas en su fabricación, así como su espesor y peso.

- d) *Reflectivos:*

Láminas, planchas o rollos; una o varias capas con espacios de aire muy pequeños.

- e) *Fabricados a pie de obra:*

Rígidos o semirrígidos.

Propiedades

Térmicas, mecánicas, relacionadas con la humedad, etc., etc.

- a) *Propiedades térmicas:*

En los materiales reflectantes el índice de aislamiento nos lo proporciona el coeficiente de absorción de la onda calorífica (0,4 para el color blanco y 1 para el negro), mientras que para

aislantes no reflectantes el índice de eficacia nos viene dado por el coeficiente de conductividad térmica del material (de 0,02 a 0,15 kcal/m · °C).

Entre otros factores que influyen están: el calor específico, la capacidad térmica (calor específico × densidad), difusividad (capacidad térmica × conductividad) y resistencia térmica.

En la tabla anexa vemos una serie de valores de la conductividad térmica para los materiales aislantes más empleados.

b) *Propiedades mecánicas:*

Hay materiales aislantes que, en virtud de su constitución física, pueden emplearse como muros de carga y techos. Son resistentes a las fuerzas de compresión, tensión, torsión, impacto y flexión. Evidentemente, estas propiedades serán función de la densidad, superficie, diámetro y orientación de la fibra, así como de la temperatura a que se realice el ensayo.

c) *Propiedades relacionadas con la humedad:*

El agua ejerce una gran influencia sobre el poder aislante de los materiales, dado que al llenar los espacios vacíos el coeficiente de conductividad térmica aumenta considerablemente, y el flujo de calor que a través de ellos se transmita será mayor que si éstos estuvieran secos.

El agua almacenada en los espacios vacíos dependerá de las condiciones ambientales, temperatura de operación, situación y efectividad de las barreras de vapor.

La resistencia a la humedad será función de la estructura física. Puesto que algunos aislamientos son higroscópicos, su ganancia o pérdida de humedad dependerá de la humedad relativa del aire en contacto con aquél.

Para evitar el paso de humedad habrá que dotar a los aislamientos fibrosos o celulares, que es por los que se transmite el vapor de agua hacia la cara fría de la estructura, de unas barreras de vapor o películas hidrófobas.

Las propiedades que expresan la influencia de la humedad son: absorción, higroscopia, capilaridad, adsorción y transmisión de vapor.

d) *Otras propiedades:*

Inodoros, resistentes al fuego, resistencia química, dimensiones estables y uniformes, duración, fácil fabricación, espesores óptimos, resistividad eléctrica, permeabilidad al aire, absorción de vibraciones y ruidos, entre otras.

Colocaciones en muros. Ventajas e inconvenientes

a) *Cara exterior:*

La mayor ventaja radica en evitar un gradiente térmico considerable entre el cerramiento, ladrillo, hormigón, etc., y la estructura interior, por lo que existirán fuerzas de expansión importantes.

Favorece el almacenamiento de calor haciendo que la potencia calorífica a suministrar sea uniforme, así como impide que las impurezas atmosféricas y la lluvia ataquen al muro.

Su máxima desventaja consiste en que la mayoría de los aislantes térmicos tienden a absorber algo de humedad descendiendo su resistencia térmica, por lo que hemos de elegirlos de tal modo que estos factores no interesen demasiado al aislante, lo que conseguimos recubriendo su cara exterior por una sustancia hidrófoba como bitumen, poliestireno o láminas metálicas.

b) *Posición intermedia:*

Es el más extendido. Su ventaja reside en que no soporta fuerzas de compresión y protege a la cara interna del muro de los daños producidos por el ambiente externo.

Cuando el muro es poroso y existen en las condiciones externas grandes temporales de lluvia debe protegerse el aislamiento contra esta eventualidad, ya que, de lo contrario, el agua atravesaría por capilaridad el aislamiento y formaría manchas en la cara inferior del cerramiento.

Deberá tenerse en cuenta esto cuando el ángulo de contacto capilar del aislamiento sea menor de 90°. En este caso empleando cualquier fibra silicosa, lana de vidrio, madera, asbesto, etc., combinado con fibra de vidrio, la cual se cubre con una resina fenólica, queda resuelto el problema, pues su ángulo de contacto es aproximadamente de 80°.

No es aconsejable dejar una cavidad, puesto que ésta favorece las corrientes de microconvección disminuyendo la eficacia del aislamiento térmico. Solamente se pueden dejar cavidades cuando el ángulo de contacto del aislamiento es menor de 90°.

Cuando el aislante es de pequeño espesor deberá protegerse con una barrera antivapor de agua en su cara interna, del tipo del poliestireno.

c) *Cara interior:*

Puede considerarse como el mejor método aislante de los aquí mencionados.

Su ventaja mayor radica en que las habitaciones se calientan más rápidamente entrando en seguida la calefacción en régimen. Pueden colocarse de este modo materiales con pequeño ángulo de contacto, placas de fibra de madera, por ejemplo, siempre y cuando no haya peligro de penetración del agua de lluvia. No es necesaria la instalación de una barrera de vapor, siempre y cuando el espesor de los muros sea lo suficientemente grande.

Entre otros alicientes de este sistema de colocación encontramos: que sirven también como aislantes acústicos, fabricación estandarizada como los paneles de poliestireno, láminas plásticas, etc.; gran durabilidad, e instalación menos costosa y sensación de confort (por otro lado totalmente independiente del coeficiente global de transmisión calorífica del muro).

También, aunque menos extendido, se colocan dos aislamientos, uno en cada cara del cerramiento.

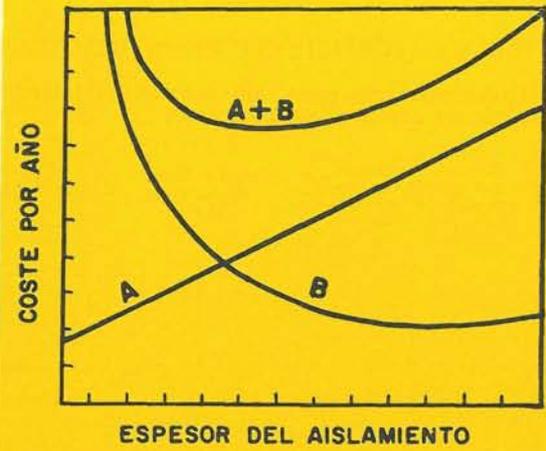
Espesor más económico del material aislante

El coste realizado en el aislamiento, equipo de calefacción, refrigeración y aire acondicionado, es de tal magnitud que hemos de tenerlo en cuenta para la elección del tipo y cantidad de material aislante a emplear. El espesor más económico será aquel que produce un retorno del capital invertido en un período de tiempo determinado. Para este espesor, la suma del coste anual de calor perdido (o ganado) y el coste del aislamiento es mínimo.

Cuando el espesor del aislamiento aumenta, el coste del calor perdido o ganado anualmente disminuye, pero el coste del aislamiento aumentará.

Determinación del espesor más económico del aislamiento:

- A = Coste de la instalación del aislamiento + tanto por ciento de interés y depreciación.
- B = Coste de la producción de calor perdido + tanto por ciento de interés y depreciación.
- A + B = Coste total.



La suma de los dos costes, primeramente decrecerá al aumentar el espesor del aislamiento, para crecer después a partir de ciertos espesores.

En el coste del calor perdido o ganado habrá que tener en cuenta el precio de la instalación, mantenimiento, etc.

En el coste del aislamiento se tendrá en cuenta también el precio de instalación, interés, mantenimiento y depreciación.

Para llegar a la expresión matemática del espesor más económico partimos de la igualdad siguiente:

Coste total = Coste de explotación + Coste de aislamiento.

Coste de explotación = $U \cdot G \cdot I \cdot 24 \cdot C_c$

Coste de aislamiento = $\frac{R}{100} C_m t_e$

$$\frac{1}{U_e} = m_o + \frac{t_e}{k} \quad ; \quad U_e = \frac{1}{m_o + \frac{t_e}{k}} \quad [1]$$

$$\frac{d(\text{coste total})}{dt_e} = G \cdot I \cdot 24 \cdot C_c \cdot \frac{-\frac{1}{k}}{\left(m_o + \frac{t_e}{k}\right)^2} + \frac{R}{100} + C_m$$

$$\frac{d(\text{Coste total})}{dt_e} = 0$$

$$G \cdot I \cdot 24 \cdot C_c \cdot \frac{1}{k} U_e^2 = \frac{R}{100} C_m$$

$$U_e = \left[\frac{k R C_m}{100 \cdot G \cdot I \cdot 24 \cdot C_c} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [2]$$

El espesor más económico saldrá de [1]:

$$t_e = k \left(\frac{1}{U_e} - m_o \right) \quad [3]$$

TABLA 1. COEFICIENTE DE INTERMITENCIA

(Calor necesario para una calefacción intermitente en relación con el que se necesitaría para un funcionamiento continuo de 24 horas).

Tiempo, en horas, que permanece encendida la calefacción al día	% de horas encendidas al día	Edificios típicos con ese régimen de calefacción	Coefficiente de intermitencia
3	13	Salas de reunión, conciertos	0,40
6	25	Fábricas, oficinas, iglesias, escuelas	0,45
9	38	Fábricas, oficinas, escuelas	0,70
11	46	Tiendas	0,80
15	63	Viviendas, apartamentos, hoteles	0,85
24	100	Hospitales, sanatorios	1,00

En la columna del tiempo en horas que permanece encendida la calefacción, no se ha incluido el período de calentamiento previo. Este período, que según tipo de edificio y lugar puede variar de 2 a 4 horas, se tiene en cuenta para hallar el coeficiente de intermitencia.

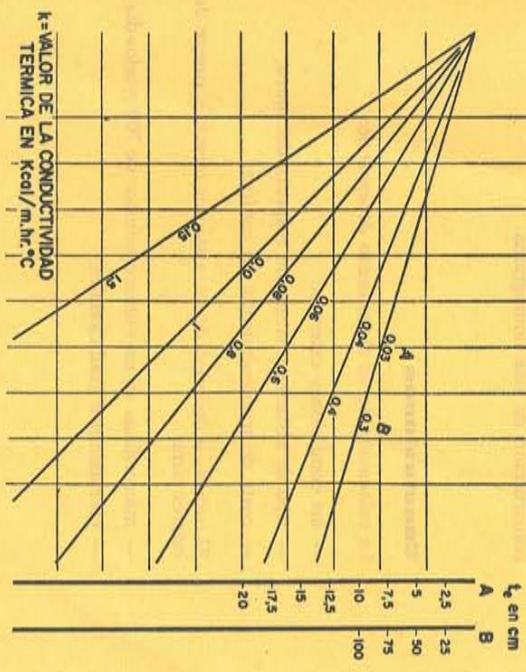
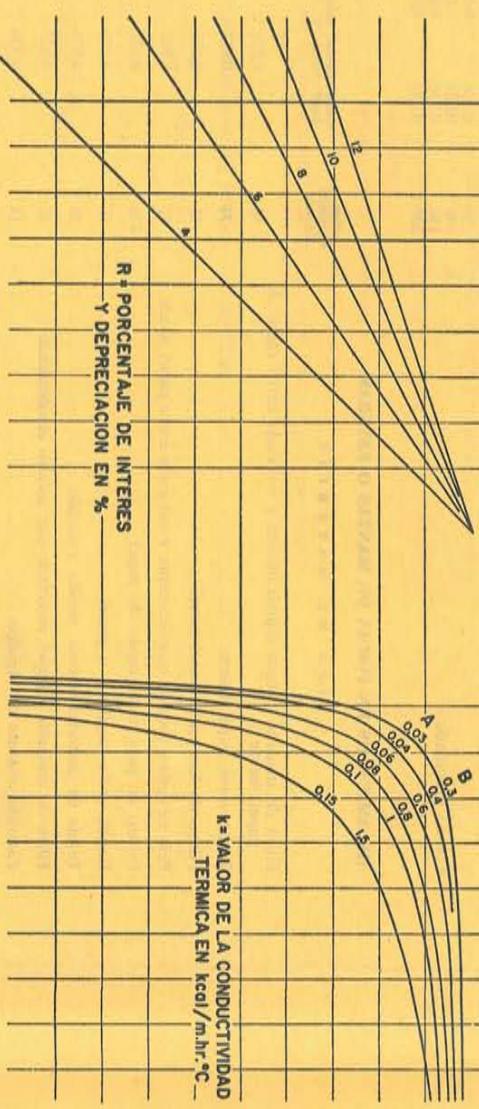
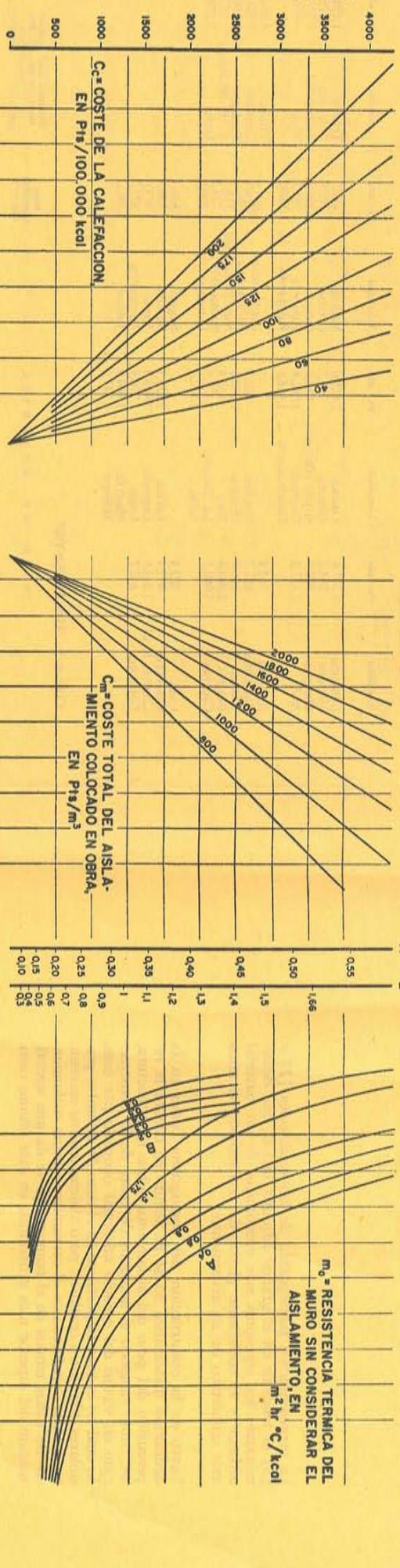
TABLA 2. CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES PARA CALEFACCION

Tipo	Descripción	Poder calorífico	Peso en montón
Antracita	Grancilla (tamaño pequeño)	6.500 kcal/kg	950 kg/m ³
	Granza (tamaño intermedio)	7.000 kcal/kg	900 kg/m ³
	Galleta (tamaño grande)	8.000 kcal/kg	800 kg/m ³
Fuel-oil	—	9.000 kcal/litro	0,93 kg/litro
Gas-oil	—	10.000 kcal/litro	0,88 kg/litro
Gas de alumbrado	—	5.000 kcal/m ³	—
Leña	—	3.500 kcal/kg	400 kg/m ³
Serrín	—	3.500 kcal/kg	150 a 250 kg/m ³
Butano	Botellas de 2,5 kg ó 12,5 kg	11.840 kcal/kg	—
Electricidad	kW · hr	860 kcal	—

TABLA 3. RENDIMIENTO DE INSTALACIONES DE CALEFACCION

Tipo de combustible	CLASE DE INSTALACION	Rendimiento
Carbón	{ Calefacción individual	0,50
	{ Calefacción central, poco atendida	0,50
	{ Calefacción central, bien atendida alimentación manual ...	0,60
	{ Calefacción central, bien atendida alimentación mecánica...	0,70
Aceites combustibles o gas del alumbrado	{ Calefacción individual	0,60
	{ Calefacción central normal	0,70
	{ Calefacción central, con automatismos	0,80
Electricidad	Aparatos individuales	1,00

NOMOGRAMA PARA LA DETERMINACION DEL ESPESOR MAS ECONOMICO DE AISLAMIENTO



NOTAS - LA DIRECCION Y SENTIDO DE MARCHA EN EL NOMOGRAMA QUEDA INDICADO EN LA REPRODUCCION DE LA IZQUIERDA.

LAS ESCALAS A Y B CORRESPONDEN A DISTINTAS FAMILIAS DE CURVAS, SEGUN LOS VALORES QUE SE TOMEN DE LOS COEFICIENTES K Y TMO. LOS RESULTADOS DE Ue y t0 SE LEERAN EN LAS ESCALAS A O B SEGUN QUE LA FAMILIA DE CURVAS ELEGIDAS SEA LA A O LA B, RESPECTIVAMENTE.

EJEMPLO - LOCAL SITUADO EN UNA CIUDAD CON 2000 GRADOS DIA, COSTE DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CALFACCION EMPLEADO, ES DE 150 Ptas/100.000 kcal.

INTERES Y DEPRECIACION DEL 8 %. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AISLANTE EMPLEADO 0.03 kcal/m.hr °C. COSTE DEL MATERIAL EMPLEADO COMO AISLANTE (COLOCADO) 1800 Ptas/m³. RESISTENCIA TERMICA DE CERPEMENTO, EXCLUYENDO LA RESISTENCIA DEL AISLANTE, 1 m² hr °C/kcal. ESPESOR MAS ECONOMICO OBTENIDO DEL AISLANTE EMPLEADO 8 cm. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION TERMICA DE MENOR PRECIO 0.27 kcal/m² hr °C.

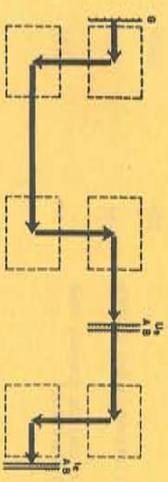


TABLA 4. GRADOS-DIA CON UNA TEMPERATURA BASE DE 15°C
Norma UNE 24.046.

Localidad	Por año	Localidad	Por año	Localidad	Por año	Localidad	Por año
Albacete	1.377,4	Cuenca	1.828,0	Murcia	432,5	Toledo	1.158,0
Alicante	338,2	Gerona	939,3	Orense	967,4	Valencia	515,9
Almeria	2.079	Gijón (Oviedo)	868,0	Oviedo	1.200,3	Valladolid	1.708,8
Avila	2.127,2	Granada	1.041,8	Palencia	1.781,5	Vigo	806,2
Badajoz	767,4	Guadalajara	1.468,6	Pamplona	1.394,6		
Barcelona	655,7	Huelva	402,3	Pontevedra	891,0	Vitoria	1.599,6
Bilbao	819,9	Huesca	1.350,1	Salamanca	1.662,2	Zamora	1.501,0
Burgos	2.048,4	Jasón	830,4	San Sebastián	913,1	Zaragoza	1.150,7
Caceres	1.003,1	La Coruña	827,5	Santander	724,1	P. de Mallorca	527,4
		Leon	2.142,6	Santiago	1.029,8	Izania	2.270,1
Cádiz	227,4	Lérida	1.225,7	Segovia	1.866,1		
Castellón	452,4	Logroño	1.404,9	Sevilla	438,4		
Ciudad Real	1.312,6	Lugo	1.770,9	Tarragona	1.977,6		
Córdoba	662,7	Madrid	1.404,9	Teruel	625,7		
		Malaga	247,6		1.801,7		

TABLA 5. AISLAMIENTOS

TIPO DE MATERIAL	Peso específico (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m.°C)
Corcho granulado	50	0,028
	100	0,032
	150	0,036
	200	0,039
Lana de vidrio	50	0,031
	100	0,030
	200	0,032
	300	0,037
	400	0,044
	500	0,051
Fibra de vidrio	50	0,028
	100	0,032
	150	0,036
	200	0,039

AISLAMIENTOS EN FORMA DE MANTAS O ESTERAS

- Conclusiones**
- La colocación de un aislamiento depende de:
- las condiciones externas;
 - tipo de aislante y situación respecto del muro;
 - coste de mantenimiento del confort.
- El estudio económico de los aislantes térmicos carece de interés para:
- microclimas en un número inferior de 700 grados-día;
 - cerramientos tradicionales.

Bibliografía

*The Heating Ventilating Engineers, vol. 37, marzo 1964.
A.S.H.R.A.E. and data book, 1965-1966.

TABLA 5. AISLAMIENTOS (Continuación)

TIPO DE MATERIAL	Peso específico (kg/m ³)	Conductividad térmica (kcal . m/m ² . °C . hr)
Esterillas de lana mineral de 3 pulgadas (7,6 cm) de grueso, extendidas sobre la cara caliente y en posición vertical	36	0,031
AISLAMIENTOS EN FORMA DE PLAFONES		
De fibra de caña de azúcar	216	0,041
De caña de maíz	240	0,041
De fibra de madera floja	286	0,040
De fibra de madera dura	243	0,040
De fibra de madera	254	0,041
AISLAMIENTOS DE MATERIAL SUELTO		
De fibra de madera	270	0,042
De raíz de regaliz	258	0,042
Plafones aislantes de 1/2 pulgadas (1,3 cm), sin acabado especial (11 muestras)	264	0,041
Fabricado con fibra de ceiba	30	0,029
Material fibroso a base de dolomita y sílice	24	0,033
Material fibroso a base de escoria	150	0,033
Corteza de pino	48	0,038
Fibras de lana de vidrio de 0,0003 a 0,006 pulgadas de diámetro (0,008 a 0,15 mm)	24	0,034
Material granular aislante fabricado con silicato cálcico y alúmina.	67	0,030
Vermiculita extendida	—	0,060
Vermiculita tamaño de las partículas —3 y + 14	99	0,040
Serrín de corcho, partículas de 3/16 pulgadas (5 mm)	130	0,038
Lana mineral granular, aplicada a mano, de 2 a 6 pulgadas de grueso (5 a 15 cm); posición horizontal. Sin recubrimiento	97	0,037
AISLAMIENTOS EN FORMA DE LOSETAS		
Placas de corcho sin aglomerante	224	0,042
Placas de corcho aglomerado con asfalto	232	0,040
De madera triturada y cemento	387	0,057
PLACAS DIVERSAS		
Placas de corcho	100	0,034
	200	0,041
	300	0,050
	400	0,057
	500	0,064
Placas de madera (ver «maderas»).		
Placas de turba	200	0,048
	300	0,056
	400	0,065

Considérations sur les isolements thermiques

A. García Arroyo, licencié ès Sciences Physiques

La variation annuelle et même quotidienne de la température extérieure se manifeste d'une façon notable à l'intérieur des édifices et, dans des conditions extrêmes, crée un inconfort évitable moyennant la combinaison appropriée de deux éléments: isolements et systèmes de chauffage ou d'air conditionné.

Etant donné l'ample gamme de variation de chacun de ces facteurs, si l'on fait une étude détaillée de leurs propriétés physiques, situation, coûts de revient et climat de la région, on trouve le matériau le plus idoine à employer, le coefficient global de transmission thermique (U_e) de l'isolément et l'épaisseur (t_e) la plus économique du matériau isolant.

A study on thermal insulation

A. García Arroyo, physics graduate

The yearly change in ambient temperature, and also the daily variations, become notably evident inside buildings. In extreme cases they cause considerable discomfort. This can be avoided by two means: insulation and heating or air conditioning.

As each of these factors covers a wide range of possibilities, a detailed study of the physical factors, such as location, cost, climate, etc., makes it possible to find the most suitable materials, with the best overall thermal transmission factor (U_e), and the cheapest thickness (t_e) of the insulating material.

Überlegungen über thermischen Isolierungen

A. García Arroyo, Dipl.-Physiker

Die jährliche Veränderung der äusserlichen Temperatur, so wie die tägliche, äussert sich beträchtlich im Inneren der Gebäude. Das erschäft eine vermeidbare Unbequemlichkeit durch die geeignete Verbindung von 2 Elemente: Isolierungen und Heizungssystem oder Klimatisierung.

Da der Wechsel von diesen Faktoren sehr gross ist, wenn man eine ausführliche Untersuchung von seinen physikalischen Eigenschaften Lage, Preise und Klima vom Gegend macht, finden wir das Material mehr geeignet zum benutzen, der Wärmedurchgangskoeffizient (U_e) von der Isolierung und die billigere Dicke (t_e) des isolierenden Materials.